



⑮ **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 199 28 190 A 1**

⑤① Int. Cl.⁷:
H 01 L 41/083

⑳ Aktenzeichen: 199 28 190.4
㉔ Anmeldetag: 19. 6. 1999
㉓ Offenlegungstag: 11. 1. 2001

DE 199 28 190 A 1

⑦① Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

⑦② Erfinder:
Heinz, Rudolf, Dr., 71272 Renningen, DE; Hedrich,
Alexander, 70499 Stuttgart, DE

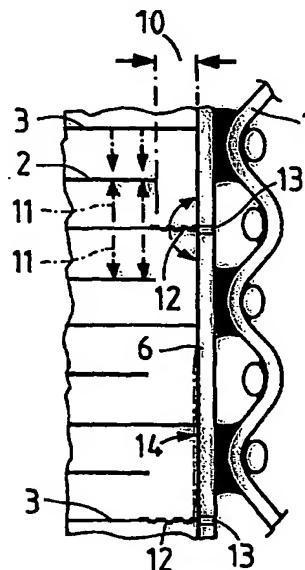
⑤⑤ **Entgegenhaltungen:**
DE 196 46 676 C1
DE 197 53 930 A1
EP 08 44 678 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ **Piezoaktor**

⑤⑦ Es wird ein Piezoaktor, beispielsweise zur Betätigung eines mechanischen Bauteils, vorgeschlagen, der einen Mehrschichtaufbau von Piezolagen und dazwischen angeordnete Innenelektroden (2, 3) aufweist. Eine erste Außenelektrode (6) ist als eine leitende Fläche auf jeweils einer Seitenfläche angebracht, die mit den jeweiligen Innenelektroden (2, 3) kontaktiert ist und eine zweite netz- oder gewebeartige Außenelektrode (7) ist auf der ersten (6) angeordnet. In den Bereichen der Piezolagen, die jeweils eine an der jeweils gegenüberliegenden Seite kontaktierte Innenelektrode (2, 3) aufweisen, ist eine passive Zone (10) ohne Innenelektrodenschicht vorhanden. Das keramische Piezomaterial zumindest in der passiven Zone (10) und das Material der zweiten Außenelektroden (7) weisen dabei einen nahezu gleichen Temperaturexpansionskoeffizienten auf, wodurch der Einfluss von mechanischen Spannungen im Piezoaktor vermindert werden kann.



DE 199 28 190 A 1

Die Erfindung betrifft einen Piezoaktor, beispielsweise zur Betätigung eines mechanischen Bauteils wie ein Ventil oder dergleichen, nach den gattungsgemäßen Merkmalen des Hauptanspruchs.

Es ist allgemein bekannt, dass unter Ausnutzung des sogenannten Piezoeffekts ein Piezoelement aus einem Material mit einer geeigneten Kristallstruktur aufgebaut werden kann. Bei Anlage einer äußeren elektrischen Spannung erfolgt eine mechanische Reaktion des Piezoelements, die in Abhängigkeit von der Kristallstruktur und der Anlagebereiche der elektrischen Spannung einen Druck oder Zug in eine vorgebbare Richtung darstellt. Der Aufbau dieses Piezoaktors kann hier in mehreren Schichten erfolgen (Multilayer-Aktoren), wobei die Elektroden, über die die elektrische Spannung aufgebracht wird, jeweils zwischen den Schichten angeordnet werden.

Solche Piezoaktoren könne beispielsweise für den Antrieb von Schaltventilen bei Kraftstoffeinspritzsystemen in Kraftfahrzeugen vorgesehen werden. Beim Betrieb des Piezoaktors ist hier insbesondere darauf zu achten, dass durch mechanische Spannungen im Lagenaufbau auch keine störenden Rissbildungen im Bereich der äußeren Anschlüsselektroden entstehen. Da die jeweils an einer Seite kontaktierten Innenelektroden kammartig in den Lagenaufbau integriert sind, müssen die in Richtung des Lagenaufbaus aufeinanderfolgenden Elektroden jeweils abwechselnd an gegenüberliegenden Seiten kontaktiert werden. Bei einer Betätigung des Piezoaktors, d. h. bei Anlage einer Spannung zwischen den im Lagenaufbau gegenüberliegenden Innenelektroden treten unterschiedliche mechanische Kräfte im Bereich der Innenelektroden sowie im Bereich der Kontaktierungen an den Außenelektroden auf, die zu mechanischen Spannungen und dadurch zu Rissen in den Außenelektroden führen können.

Vorteile der Erfindung

Der eingangs beschriebene Piezoaktor, der beispielsweise zur Betätigung eines mechanischen Bauteils verwendbar sein kann, ist in vorteilhafter Weise dadurch weitergebildet, dass bei einem Mehrschichtaufbau von keramischen Piezolagen und dazwischen angeordneten Innenelektroden, als eine erste Außenelektrode eine leitende Fläche auf jeweils einer Seitenfläche angebracht ist, die mit den jeweiligen Innenelektroden kontaktiert ist und eine zweite netz-, gewebeartige oder gewellte Außenelektrode auf der ersten angeordnet ist. Die zweite Außenelektrode ist zumindest punktuell mit der ersten kontaktiert, wobei zwischen den Kontaktierungen dehnbare Bereiche zu liegen kommen.

In den Bereichen zwischen zwei Piezolagen, die jeweils eine an der jeweils gegenüberliegenden Seite kontaktierte Innenelektrode aufweisen, ist eine passive Zone ohne Innenelektroden vorhanden, wobei erfindungsgemäß das keramische Piezomaterial zumindest in der passiven Zone und das Material der zweiten Außenelektrode einen nahezu gleichen Temperaturausdehnungskoeffizienten aufweisen.

Die erste Außenelektrode kann eine dünne, z. B. einige μm dicke Schicht aus Ni, Ni+Cu oder Ni+PbSn sein, die direkt auf der Oberfläche des Piezoaktors haftet; die zweite Außenelektrode ist hier zum Schutz gegen Querrisse angeordnet, die die Stromleitung in der Außenelektrode unterbrechen kann. Die Querrisse können an der ersten Außenelektrode durch Delamination in den Innenelektroden, infolge von Zugspannungen in den Piezolagen in den passiven

Zonen, entstehen. Durch die Anordnung der netzartigen zweiten Außenelektrode werden die Querrisse gestoppt und die ev. in der ersten Außenelektrode unterbrochene Stromleitung überbrückt.

Außerdem kommt es bei schnellen Temperaturwechseln von beispielsweise -40°C bis $+160^{\circ}\text{C}$ im Piezoaktor auch ev. zu Ablösungen zwischen der ersten Außenelektrode und der Piezokeramik infolge zu großer Schubspannungen, wenn die Temperaturausdehnungskoeffizienten des Piezokeramikmaterials und des Materials der Außenelektroden zu sehr voneinander abweichen. Insbesondere die zweite Außenelektrode würde dann wegen der größeren Dicke (ca. $100\text{ }\mu\text{m}$) im Vergleich zur ersten Schicht (ca. $5\text{ }\mu\text{m}$) große Schubkräfte erzeugen.

In besonders vorteilhafter Weise können die mechanischen Spannungen im Piezoaktor vermindert werden, wenn die keramischen Piezolagen und die zweiten Außenelektroden einen annähernd übereinstimmenden Temperaturausdehnungskoeffizienten von ca. $1 \cdot 10^{-6} \cdot 1/\text{K}$ bis $10 \cdot 10^{-6} \cdot 1/\text{K}$ aufweisen. Als Herstellungsmaterial kommt dabei für die keramischen Piezolagen Bleizirkonatitanat und für die zweiten Außenelektroden Eisen-Nickel-Legierungen, z. B. Invar, in Frage. Zur Verbesserung der Lötbarkeit dieses Materials kann es zunächst mit einer dünnen (z. B. $5 \times 10\text{ }\mu\text{m}$) Schicht aus Kupfer beschichtet werden. Danach kann eine Sn-Pb-Lotschicht aufgebracht werden, um die zweite Außenelektrode auf die erste aufzulöten.

Diese und weitere Merkmale von bevorzugten Weiterbildungen der Erfindung gehen außer aus den Ansprüchen auch aus der Beschreibung und den Zeichnungen hervor, wobei die einzelnen Merkmale jeweils für sich allein oder zu mehreren in Form von Unterkombinationen bei der Ausführungsform der Erfindung und auf anderen Gebieten verwirklicht sein und vorteilhafte sowie für sich schutzfähige Ausführungen darstellen können, für die hier Schutz beansprucht wird.

Zeichnung

Ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Piezoaktors wird anhand der Zeichnung erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 einen Schnitt durch einen Piezoaktor mit einem Mehrschichtaufbau von Lagen aus Piezokeramik und Innenelektroden sowie einer netzartigen Außenelektrode auf einer ersten flächigen Außenelektrode;

Fig. 2 eine Draufsicht auf die netzartige Außenelektrode nach der Fig. 1 und

Fig. 3 einen Detailschnitt durch den Lagenaufbau und die Außenelektroden in passiven Zonen der Piezolagen mit den dort durch auftretende mechanische Schub- und Querspannungen entstehenden Rissen.

Beschreibung des Ausführungsbeispiels

In Fig. 1 ist ein Piezoaktor 1 gezeigt, der in an sich bekannter Weise aus Piezofolien eines Keramikmaterials mit einer geeigneten Kristallstruktur aufgebaut ist, so dass unter Ausnutzung des sogenannten Piezoeffekts bei Anlage einer äußeren elektrischen Spannung an Innenelektroden 2 und 3 eine mechanische Reaktion des Piezoaktors 1 erfolgt. Aus Fig. 2 ist eine Seitenansicht dieser Anordnung zu entnehmen.

Mit den Innenelektroden 2 und 3 steht eine erste flächige Außenelektrode 6 in Kontakt, die wiederum mit einer zweiten netzartigen Außenelektrode 7 über Punktkontakte 8, beispielsweise durch Lötten oder Schweißen, kontaktiert ist. Die erste Außenelektrode 6 kann eine dünne, z. B. einige μm dicke, Schicht aus Ni, Ni+Cu oder Ni+PbSn sein, die direkt

auf der Oberfläche des Piezoaktors 1 haftet.

Beim Detailschnitt nach Fig. 3 ist der Lagenaufbau und sind die seitlich anliegenden Außenelektroden 6 und 7 nach den Fig. 1 und 2 deutlich zu erkennen. Es ist hier eine passive Zone 10 angedeutet, in der das elektrische Feld gemäß der Pfeile 11 nicht stark ausgeprägt ist, wodurch die Dehnung des Piezoaktors 1 nicht frei erfolgt sondern über Zugspannung im Keramikmaterial des Piezoaktors 1 erzwungen wird. Dadurch können Delaminationen 12 entstehen, die hier an einigen Innenelektroden 3 angedeutet sind. Die Delamination 12 kann dabei in einen Riss 13 in der ersten Außenelektrode 6 übergehen. Allerdings wird der Riss 13 durch die netzartige zweite Außenelektrode 7 gestoppt und leitend überbrückt.

Weiterhin sind in der Fig. 3 auch Schubrisse 14 angedeutet, die zwischen dem Keramikmaterial der Piezolagen und der ersten Außenelektrode 6 durch unterschiedliche Temperaturendeckung der Pizokeramik und der zweiten Außenelektrode 7 entstehen können. Die relativ dünne erste Außenelektrode 6 hat hier keinen großen Einfluss.

Patentansprüche

1. Piezoaktor, mit
 - einem Mehrschichtaufbau von keramischen Piezolagen und dazwischen angeordneten Innenelektroden (2, 3),
 - einer wechselseitigen seitlichen Kontaktierung der Innenelektroden (2, 3) über Außenelektroden (6, 7), über die eine elektrische Spannung zuführbar ist, wobei
 - als eine erste Außenelektrode (6) eine leitende Fläche auf jeweils einer Seitenfläche angebracht ist, die mit den jeweiligen Innenelektroden (2, 3) kontaktiert ist und eine zweite netz-, gewebeartige oder gewellte Außenelektrode (7) auf der ersten (6) angeordnet ist, wobei die zweite Außenelektrode zumindest punktwiese mit der ersten (6) kontaktiert ist und wobei zwischen den Kontaktierungen dehnbare Bereiche zu liegen kommen und wobei
 - in den Bereichen der Piezolagen, die jeweils eine an der jeweils gegenüberliegenden Seite kontaktierte Innenelektrode (2, 3) aufweisen eine passive Zone (10) ohne Innenelektrodenschicht vorhanden ist und das keramische Piezomaterial zumindest in der passiven Zone (10) und das Material der zweiten Außenelektroden (7) einen nahezu gleichen Temperaturendeckungskoeffizienten aufweisen.
2. Piezoaktor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
 - die keramischen Piezolagen und die zweiten Außenelektroden (7) einen Temperaturendeckungskoeffizienten von ca. $1 \cdot 10^{-6} \cdot 1/K$ bis $10 \cdot 10^{-6} \cdot 1/K$ aufweisen.
3. Piezoaktor nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass
 - die keramischen Piezolagen aus Bleizirkonattitanat sind.
4. Piezoaktor nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass
 - die zweiten Außenelektroden (7) aus einer Eisen-Nickel-Legierung, gegebenenfalls mit einer Kupferbeschichtung, hergestellt sind.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

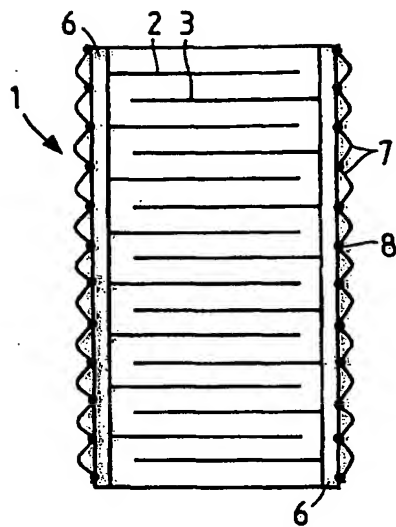


Fig. 1

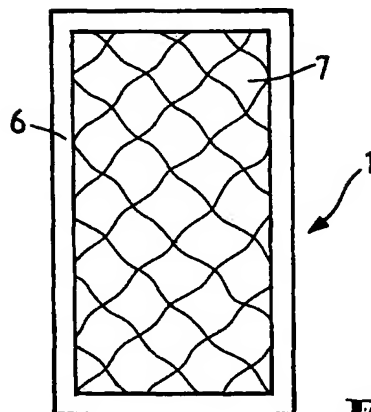


Fig. 2

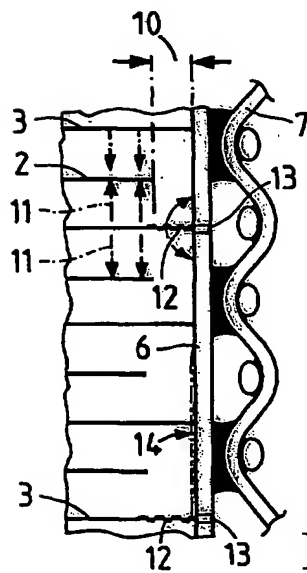


Fig. 3